
LA ADOPCIÓN Y DIFUSIÓN DE TECNOLOGÍAS LIMPIAS.

APLICACIÓN A LA INDUSTRIA DEL PAPEL EN ESPAÑA.

PABLO DEL RÍO GONZÁLEZ

Facultad de Ciencias Jurídicas y Sociales de Toledo
Universidad de Castilla-La Mancha (UCLM)

LA TRANSICIÓN HACIA EL DESARROLLO SOSTENIBLE EXIGE CAMBIOS DRÁSTICOS EN LOS ACTUALES PATRONES DE PRODUCCIÓN Y CONSUMO. PUEDE MEJORARSE SIGNIFICATIVAMENTE EL BIENESTAR HUMANO REDUCIENDO LAS PRESIONES

47

ambientales derivadas de los procesos de producción industrial. El cambio tecnológico puede jugar un papel muy relevante en esta transición. Los impactos ambientales derivados de los procesos de producción industrial pueden no sobrepasar la capacidad de carga del planeta si se implementan tecnologías que disminuyan sustancialmente la intensidad ambiental de la producción (es decir, que den lugar a grandes reducciones en las emisiones y en el uso de materiales y energía). Por ello, la difusión de las tecnologías ambientales en general y de las tecnologías limpias en particular (aquellas que gene-

ran las mayores reducciones en el impacto ambiental) puede considerarse como muy positiva (1).

Las tecnologías ambientales son todas aquellas técnicas, productos o procesos que conservan o restauran las calidades ambientales (Kemp 1997) pueden contribuir de manera diferente a la reducción de impactos ambientales derivados del proceso productivo y, por lo tanto, a la sustentabilidad. Existe una amplia gama de tecnologías ambientales aunque normalmente se simplifica la cuestión contraponiendo las tecnologías limpias a las

tecnologías de final de tubería (tecnologías EOP, por sus siglas en inglés):

Las *tecnologías EOP* son aparatos que se añaden al final de los procesos productivos con el objetivo de transformar las emisiones primarias en sustancias más fáciles de manejar. Las tecnologías EOP no dan lugar a cambios en los procesos de producción (un ejemplo son las plantas de tratamiento de aguas residuales).

Las *tecnologías limpias* suponen cambios en los procesos productivos que reducen la cantidad de residuos y contaminantes

generados en el proceso de producción o durante la vida útil del producto (productos limpios) (2).

Aunque resulta probable que la elección tecnológica óptima para lograr el D.S. implique una combinación de alternativas tecnológicas, las tecnologías limpias son frecuentemente consideradas como la opción preferible desde un punto de vista de la sustentabilidad (véase Coenen y Klein-Vielhauer 1997). Desde la perspectiva ambiental, las tecnologías limpias eliminan el potencial problema ambiental desde el principio (al prevenirlo), mientras que las tecnologías EOP desplazan meramente el peligro ambiental de un medio a otro (por ejemplo, del agua al aire).

Desde una perspectiva económica, la instalación de una tecnología EOP supone siempre un aumento en los costes (tanto de capital como de operación y mantenimiento) para las empresas adoptantes, pero no genera un aumento paralelo en la producción. Por el contrario, las tecnologías limpias pueden mejorar la eficiencia del proceso productivo reduciendo el consumo de materiales y energía. Todo esto significa que, mientras que las tecnologías limpias pueden incrementar la productividad y competitividad de las empresas (3), esto no ocurre casi nunca con las tecnologías EOP.

No obstante, aunque lo anterior puede provocar que las tecnologías limpias sean más atractivas para la empresa, en los países de la OCDE las compañías han preferido mayoritariamente abordar los problemas ambientales que causan con tecnologías EOP. La difusión generalizada de tecnologías limpias es presa de un conflicto entre incentivos sociales y privados. Los agentes privados no tienen a menudo los suficientes incentivos para desarrollar, innovar y adoptar tecnologías limpias, que, no obstante, son beneficiosas desde un punto de vista social.

Por lo tanto, el problema es que existen barreras económicas, institucionales y sociales que impiden que las tecnologías más respetuosas con el medio ambiente se introduzcan en el sistema socioeconómico. El análisis de esas barreras, así como de los factores que conducen al cambio tecnológico ambiental en general y a la adopción de tecnologías limpias en parti-

cular, debería ser uno de los objetivos de investigación de los economistas dedicados al estudio de las complejas interacciones entre economía, sociedad y medio ambiente. Es necesario mejorar sustancialmente nuestra comprensión de los mecanismos que subyacen al cambio tecnológico ambiental y de los factores que determinan la difusión de tecnologías ambientales, así como mejorar el conocimiento del contexto político e institucional que podría fomentar o, por el contrario, dificultar la implantación de los cambios necesarios. Es posible extraer interesantes implicaciones de política pública de llevar a cabo un análisis así. Esto puede, sin duda, ayudar a los decisores públicos a compatibilizar los incentivos privados con los objetivos sociales, de forma que los objetivos ambientales puedan alcanzarse a un coste razonable.

En este trabajo se aplica un modelo teórico esbozado en del Río (2002) y desarrollado en la siguiente sección para analizar los factores que influyen en la adopción de tecnologías ambientales en la industria del papel en España. Los resultados del estudio empírico se analizan en la tercera sección. El artículo se cierra con una apartado de conclusiones.

LA DECISIÓN DE ADOPTAR TECNOLOGÍAS LIMPIAS: UN MODELO EXPLICATIVO

La decisión de adoptar tecnologías limpias por parte de la empresa es compleja, está sujeta a múltiples influencias y, por lo tanto, resulta difícil de modelar. No obstante, pueden inferirse relevantes conclusiones de acometer tal desafío intelectual y empírico. En esta sección proponemos un marco teórico para analizar los factores que en unos casos motivan y en otros impiden la adopción de tecnologías limpias por parte de las empresas.

MARCO TEÓRICO PARA EL ANÁLISIS DEL CAMBIO TECNOLÓGICO AMBIENTAL. LAS VENTAJAS DE UN ENFOQUE EVOLUTIVO

El análisis de los factores que influyen en la decisión de la empresa de adoptar tec-

nologías limpias exige aplicar un enfoque dinámico y sistémico del cambio tecnológico que tenga en cuenta a los actores y las presiones de diferentes fuentes que tienen un impacto en dicha decisión, así como las diferentes respuestas tecnológicas dadas por las empresas a esas presiones.

En comparación con otros enfoques teóricos que han sido utilizados para analizar la relación entre cambio tecnológico, economía y medio ambiente (5), los modelos evolutivos tienen ventajas obvias en el contexto de este trabajo (véase más abajo). No obstante, se ha seguido aquí en lo posible un enfoque ecléctico conectando y relacionando los enfoques evolutivos con ciertas aportaciones realizadas por la economía industrial, las teorías de la gestión ambiental en la empresa y el enfoque sociológico de la evaluación constructiva de tecnologías.

Los enfoque evolutivos muestran que la tecnología no se difunde según una lógica interna, sino que es endógena a los incentivos económicos, a las capacidades de las empresas y a la estructura institucional (6). Es el resultado de la interacción entre factores de oferta y de demanda y de fuerzas y grupos sociales. Se asume una conexión explícita entre las empresas (organizaciones movidas por el ánimo de lucro) y el contexto social en el que estas se encuentran.

La tecnología elegida por la empresa depende de un conjunto de factores económicos, sociales, culturales e institucionales pero, también, de la propia capacidad de la empresa para acumular conocimiento a través de procesos de aprendizaje (7). Los esfuerzos realizados por la economía evolutiva del cambio tecnológico se han dirigido a identificar las razones por las que la sociedad está enclavada en determinadas trayectorias tecnológicas (*lock-in*).

Las inercia tecnológica y el *lock-in* están relacionados con la incertidumbre inherente al proceso de toma de decisiones (que conduce a las empresas a seguir rutinas que les son familiares, innovando a lo largo de trayectorias tecnológicas ya conocidas) y con el hecho de que el cambio tecnológico es un proceso acumulativo y retroalimentador: los cambios de-

penden de las tecnologías existentes, de la acumulación de experiencia y del conocimiento pasado. La acumulación de conocimiento permite que tengan lugar nuevos procesos de aprendizaje, lo cual resulta crucial para el desarrollo, adopción y difusión de nuevas tecnologías.

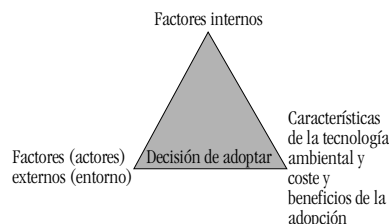
Las unidades de análisis son tanto la empresa como las propias tecnologías. Las empresas son diferentes las unas de las otras en muchos aspectos. Cada una tiene distintas capacidades tecnológicas, existe una amplia variedad en las formas de organizarse y siguen estrategias a menudo diferentes. Por lo tanto, también son diferentes sus respuestas a los sucesos externos.

También existe una elevada diversidad en los cambios tecnológicos. Mientras que unos cambios son graduales con respecto a las tecnologías existentes (cambios tecnológicos incrementales), otros pueden considerarse como verdaderas revoluciones tecnológicas (tecnologías radicales). La implicación de cada tipo de cambio tecnológico para la economía y para las empresas que las adoptan son muy diferentes (véase la siguiente sección). En la próxima sección, se analizarán los factores de cambio tecnológico específicos que pueden derivarse de un enfoque evolutivo y que influyen en la adopción y difusión de tecnologías limpias.

UN MODELO TEÓRICO PARA EL ANÁLISIS DE LA ADOPCIÓN DE TECNOLOGÍAS LIMPIAS

Cuando se toma la decisión de adoptar una tecnología limpia, las empresas están influidas por las presiones y los flujos de información procedentes de una amplia gama de actores sociales e institucionales. La interacción de estas fuerzas «externas» con las capacidades y características de la empresa (incluido el tipo de estructura empresarial y la estrategia ambiental de la misma) y con las principales características tecnológicas de las tecnologías, dan lugar a la adopción (o no adopción) de una tecnología ambiental determinada (véase figura 1). En realidad, cuando se adopta una perspectiva dinámica, estos tres conjuntos de factores (que componen lo que hemos denominado «modelo triangular») coevolucionan, fundamental-

**FIGURA 1
EL MODELO TRIANGULAR
DE LA ADOPCIÓN DE TECNOLOGÍAS
LIMPIAS**



FUENTE: Elaboración propia.

mente a nivel sectorial, y a menudo conducen a una lenta transición tecnológica ambiental (de tipo incremental). Por ello es necesario explicar la relevancia de los factores mencionados, que influyen en la adopción de tecnologías limpias.

Factores internos a la empresa. Las empresas son organizaciones sociales que operan en un entorno complejo que genera presiones y oportunidades para el cambio. Al contrario de lo que se asume en los modelos neoclásicos de la empresa, los gestores tienen a menudo información imperfecta acerca de las tecnologías existentes y sobre el entorno socioeconómico (entorno de selección) en el que se encuentran. Por ello, utilizan frecuentemente rutinas conocidas para tomar decisiones en este entorno incierto. Esto puede dar lugar a la inercia tecnológica (o *lock-in*). Esta inercia tecnológica se presenta frecuentemente en la adopción de tecnologías de mejora en la eficiencia energética por parte de pequeñas empresas en muchos sectores industriales.

Además, como consecuencia directa de las diferentes condiciones y características de las empresas estas reaccionan de forma diferente al mismo entorno competitivo. Por ello, existen determinados factores internos que influyen en el proceso de adopción. Más concretamente, la adopción de tecnologías limpias requiere la existencia de algunas pre-condiciones interrelacionadas a nivel de la empresa:

■ Una organización que incorpore los aspectos ambientales y que asuma una estrategia ambiental proactiva. Muchos de los obstáculos para la adopción de tecno-

logías limpias están relacionados con una falta de inclusión de la dimensión ambiental en la organización y estrategia de la empresa. Es necesario un cambio en la «cultura» corporativa en el que se pase a considerar las cuestiones ambientales no como un desafío, sino como una fuente de oportunidades empresariales (ver Welford 1996). Debe adoptarse una estrategia ambiental proactiva, deben fijarse objetivos ambientales (incluida una política ambiental escrita) y debe establecerse una estructura organizativa que defina claras responsabilidades de protección ambiental. Cuando la empresa no afronta el desafío que supone incorporar las cuestiones ambientales en la estrategia y la organización empresarial, entonces las responsabilidades ambientales no quedan definidas y es poco probable que se cumplan los objetivos de prevención de la contaminación. En un contexto así, la adopción de tecnologías limpias no es probable que sea considerada como una prioridad para los gestores de la empresa. Un ejemplo muy claro de esto es suministrado por van Dijken et al (1999) para la adopción de tintes altamente reactivos en la industria textil danesa. La empresa pionera que adoptó esta tecnología limpia lo hizo para mejorar la calidad ambiental del producto que y crear una imagen verde. Para ello, fue fundamental contar con una dirección que considerara las oportunidades de negocio que una estrategia así podría brindar.

■ Capacidad tecnológica. Uno de los obstáculos para la adopción de tecnologías limpias está relacionado con la falta de competencia tecnológica por parte de la empresa para asimilar el conocimiento técnico procedente de fuentes externas (capacidad de absorción). La empresa puede no tener la capacidad técnica necesaria para operar la nueva tecnología como consecuencia, por ejemplo, de una falta de personal cualificado.

Esto resulta especialmente relevante en el caso de las tecnologías limpias, que suelen ser más complejas y sofisticadas que las tecnologías EOP y que a menudo provocan un cambio sustancial en el proceso productivo. Por ejemplo, en la industria de la impresión la tecnología CTP (*Computer to Plate*) es una tecnología limpia radical que ha exigido que aquellas em-

presas que la adopten modifiquen la organización del trabajo.

Además, esta nueva tecnología exige competencias diferentes por parte de los trabajadores, que deben conocer las técnicas de procesamiento de textos e imágenes basadas en ordenador para trabajar con CTP (para más información véase van Dijken et al (1999)). Para elegir una tecnología limpia la empresa debe tener información sobre la existencia y disponibilidad de esas alternativas tecnológicas limpias y debe aprender a instalarlas y a utilizarlas adecuadamente.

Al mismo tiempo, debe ser capaz de predecir las tendencias más probables en la legislación ambiental y en el mercado para identificar la tecnología que más le conviene, dados su estrategia y objetivos corporativos. En resumen, la adopción de una tecnología limpia requiere una capacidad de absorción mínima por parte de los potenciales adoptantes.

Por otro lado, los estudios empíricos subrayan que ciertas características estructurales de la empresa tienen una importante influencia en la decisión de adoptar una tecnología limpia. Por ejemplo, un tamaño empresarial mayor está a menudo correlacionado con unas mayores tasas de adopción.

Por un lado, ciertas tecnologías limpias requieren de un tamaño mínimo del proceso productivo para que la empresa aproveche enteramente todas las potencialidades que las nuevas tecnologías ofrecen. Por ejemplo, este es el caso de la industria del cemento, existen tecnologías limpias que requieren mucho espacio. Además, en este sector los costes de capital de una tecnología disminuyen al aumentar el tamaño de la fábrica (Calleja et al 2003).

Por otro lado, un mayor tamaño frecuentemente correlacionado con la disponibilidad de recursos por parte de la empresa (financieros, humanos o técnicos). Es más probable que aquellas empresas con una mejor situación financiera adopten tecnologías limpias, pues estas suelen estar incorporadas en bienes de equipo caros y su adquisición exige unos elevados gastos iniciales.

Esto es especialmente cierto en aquellos sectores intensivos en capital, en los que

la inversión inicial requerida puede ser muy elevada (por ejemplo, este es el caso de la tecnología del arco eléctrico en el sector siderúrgico). Las pequeñas empresas, especialmente en sectores maduros, no tienen los recursos necesarios para la adopción de ciertas tecnologías limpias (por ejemplo, la tecnología de cierre de circuitos en los procesos de desengrase (*degreasing processes*) en la industria del galvanizado exige unos recursos financieros que no suelen estar al alcance de las PYMES).

El sector al que la empresa pertenece puede influir en la probabilidad de adopción. La razón es que la disponibilidad de tecnologías ambientales y el carácter de las presiones al cambio procedentes de actores sociales externos puede diferir entre sectores. La estructura competitiva del sector puede también afectar a la introducción de las cuestiones ambientales en la estrategia y organización de la empresa y, por lo tanto, en su respuesta tecnológica ambiental.

Factores externos a la empresa. Las empresas operan, toman sus decisiones e interactúan con otros actores sociales, institucionales y de mercado en un determinado contexto socioeconómico (entorno de selección). Por lo tanto, el cambio tecnológico y, más específicamente, la adopción tecnológica puede considerarse como una respuesta de las empresas a los estímulos e incentivos procedentes de ese entorno de selección.

Las presiones al cambio en el comportamiento ambiental de la empresa tienen su origen en una amplia gama de actores y factores (figura 2).

Los estudios empíricos se han centrado casi exclusivamente en demostrar que la regulación ambiental (a todos los niveles) constituye la presión más importante para que las empresas modifiquen su comportamiento en los asuntos ambientales (ver Kemp 1997). Sin embargo, no todas las presiones al cambio proceden de fuentes coercitivas. Existen otros actores relevantes que pueden afectar a la decisión de la empresa de adoptar o no una tecnología limpia.

Por un lado, las empresas pueden verse influidas por el «consumo verde». Esto

ocurre cuando los consumidores valoran el rendimiento ambiental de la empresa o el impacto ambiental de sus productos. Por ejemplo, en Alemania, los consumidores demandan un papel libre de cloro (TCF), el cual genera un impacto mucho menor que el blanqueado con dióxido de cloro. Esta presión de los consumidores ha provocado que exista un mercado muy importante para el papel TCF y que, por lo tanto, las empresas modifiquen sus procesos productivos adoptando la nueva tecnología.

Además, en su papel de fuente de información sobre las nuevas tecnologías, los competidores pueden también ser una poderosa fuerza para el cambio. Este es el caso cuando la utilización de una determinada tecnología ambiental reduce los costes de la empresa (tecnologías win-win) de forma que la adopción incrementa su competitividad (por ejemplo, es el caso con muchas tecnologías que dan lugar a un incremento de la eficiencia energética, de las cuales pueden encontrarse ejemplos en todos los sectores industriales).

Por otra parte, los flujos de información y la cooperación entre los actores (*networking*) constituyen un factor muy relevante en la adopción de tecnologías limpias. Las redes de colaboración entre los actores hacen más ágiles los flujos de información y, por lo tanto, reducen los riesgos inherentes a la toma de decisiones sobre adopción de tecnologías. Suministradores, administraciones públicas, asociaciones industriales, empresas consultoras y otros actores pueden jugar un papel crucial, como demostraremos en el estudio empírico.

La intensidad de las presiones procedentes de consumidores y de otros actores sociales y de mercado para que la empresa reduzca sustancialmente el impacto ambiental derivado de su proceso productivo resultan diferentes en función de la posición de la empresa en la cadena de valor. Así, aquellas empresas que se encuentran más cercanas al consumidor final tienden a verse más afectados por la concienciación ambiental de los consumidores (en el caso de que esta realmente exista y se manifieste) que, por ejemplo, las empresas que producen bienes intermedios, aunque las presiones para mejo-

rar el rendimiento ambiental son crecientemente percibidas a lo largo de toda la cadena de valor empresarial.

Por último, las empresas españolas filiales de matrices extranjeras pueden tener una mayor presión (aunque también mayores recursos) para mejorar su comportamiento ambiental. Esta presión les viene a veces de las políticas ambientales implantadas por las empresas matrices. Por ejemplo, este parece ser el caso de la empresa Klüber Lubrication GmbH Ibérica descrito en Villamil y Maties (2002).

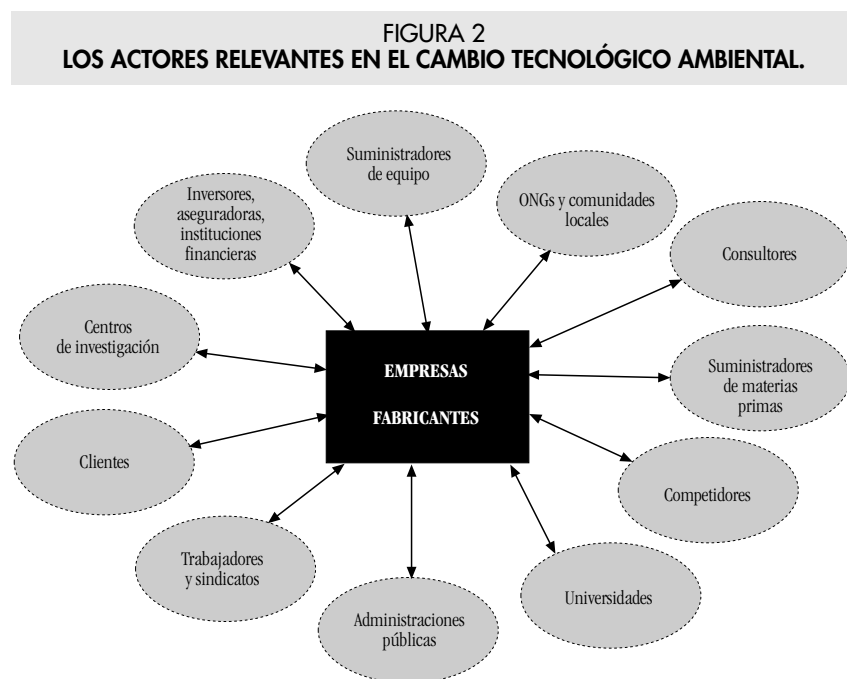
CARACTERÍSTICAS DE LAS TECNOLOGÍAS Y COSTES Y BENEFICIOS DE LA ADOPCIÓN

Obviamente, la disponibilidad de alternativas tecnológicas constituye una precondition para la adopción. Como ya se ha mencionado, cada sector muestra diferentes oportunidades tecnológicas ambientales. Pero, incluso dentro del mismo sector, es posible identificar una gama de tecnologías ambientales con muy diferentes características tecnoeconómicas. Estas características constituyen un factor adicional explicativo del bajo nivel de adopción de tecnologías limpias en relación con el de las tecnologías EOP. Por ello, se deduce que las características tecnoeconómicas de las tecnologías limpias (incluidos los beneficios y costes de la adopción) influyen en el grado de adopción y en la velocidad a la que esta tiene lugar.

La adopción de una tecnología limpia puede dar lugar a beneficios tangibles e intangibles para las empresas adoptantes (véase también Facheux et al 1998):

a) La explotación de una imagen verde por parte de la empresa puede provocar un aumento en los ingresos como consecuencia de un aumento en las ventas o de un aumento en el precio (en el caso de que los consumidores estén dispuestos a pagar una «prima» por la adquisición de productos más limpios).

b) Las tecnologías limpias podrían reducir los costes de producción. Esto puede ocurrir si las tecnologías incrementan la eficiencia del proceso de producción dis-



FUENTE: Elaboración propia.

minuyendo las necesidades de energía o materiales. Además, la empresa podría obtener beneficios directos si recicla o reutiliza sus propios residuos.

c) Pueden obtenerse beneficios intangibles de la adopción (tales como una mejora en la calidad de los productos, en la imagen de la empresa y en la motivación del personal).

Sin embargo, a pesar de los posibles beneficios de la adopción, cuando estos se comparan con los costes surgen las principales barreras para la adopción:

Incertidumbre y riesgo. Una de las razones de la relativamente baja tasa de adopción de tecnologías limpias está relacionado con los riesgos e incertidumbres asociadas a la decisión de adoptar. Estas incertidumbres pueden ser de diferentes tipos:

✓ Relativas a la regulación, como resultado de regulaciones ambientales cambiantes que pueden provocar una excesivamente rápida sustitución de las tecnologías utilizadas por la empresa. No obstante, la regulación no es simplemente un factor exógeno que le viene dado a la empresa, sino que en muchas ocasiones esta influ-

ye en los requerimientos legales. En efecto, la empresa tiene el incentivo de reducir los costes de control de la contaminación, y eso puede conseguirlo presionando como *lobby* para lograr que, o bien una determinada regulación ambiental no llegue a aplicarse, o bien que esa regulación exija la implantación de tecnologías ambientales poco radicales. Por otro lado, en realidad la normativa ambiental no es sustituida tan continuamente como más arriba se sugiere.

✓ Relacionadas con los cambios drásticos que la adopción puede provocar en las empresas: en la organización de la empresa, en las rutinas de producción, en los procesos de producción o en la formación y habilidades técnicas de los trabajadores. En general, cuanto menos radical sea la tecnología ambiental adoptada menores los riesgos, pues menores son los cambios exigidos a nivel de instalación.

✓ Incertidumbres de mercado (por imposibilidad de recuperación de las inversiones realizadas) y técnicas (ignorancia sobre el funcionamiento de la tecnología o sobre sus costes de mantenimiento). No obstante, ciertas tecnologías ambientales son lo suficientemente maduras y están lo suficientemente probadas como para que

la incertidumbre tanto de mercado como técnica sea relativamente baja.

Además, es necesario tener en cuenta que la evaluación de las nuevas tecnologías se lleva a cabo con los criterios utilizados para evaluar las antiguas. Esto puede hacer que las nuevas tecnologías parezcan poco atractivas o que sus ventajas no sean tenidas en cuenta.

Altos costes de inversión en bienes de equipo que incorporan la tecnología limpia y asimetría temporal entre los costes y los beneficios de la adopción.

Las tecnologías limpias incorporadas en los equipos provocan la realización de mayores inversiones iniciales que las tecnologías EOP (aunque estas inversiones pueden recuperarse en el caso de las tecnologías limpias, mientras que no es así en el caso de las tecnologías EOP). La empresa puede no contar con los recursos financieros necesarios para llevar a cabo esas inversiones. La rentabilidad de las tecnologías limpias suele tener lugar en el medio/largo plazo, mientras que los costes son a muy corto plazo.

El problema es que, en general, cuanto más radical es una tecnología ambiental (es decir, más limpia), mayores son los beneficios sociales y más drástica la reducción del impacto ambiental generado por la empresa pero, por desgracia, también mayores son los costes iniciales de la adopción y la incertidumbre sobre la viabilidad tecnoeconómica de la tecnología.

En síntesis: cuanto más radical es una tecnología, mayores son los costes privados a corto plazo. Esto, por supuesto, desincentiva la inversión en tecnologías limpias, especialmente por parte de las PYMES, apuntando a un posible papel de la política pública en pro de la sustentabilidad. Esta suele ser la principal barrera para la adopción de tecnologías limpias radicales. Los relativamente largos periodos de retorno de la inversión chocan frontalmente con la consideración de horizontes temporales de muy corto plazo, como son los manejados frecuentemente por los empresarios adoptantes. En este sentido, la concesión de subvenciones (o de condiciones de financiación favorables, por ejemplo, préstamos a bajo interés) que cubran parte de ese coste inicial

pueden ser especialmente eficaces para eliminar esa barrera.

La existencia de una base instalada como barrera contra la adopción. El problema de los costes del cambio.

La existencia de activos físicos duraderos supone una importante limitación para realizar inversiones adicionales en nuevos equipos. Esos activos se reemplazan a largo plazo. A corto plazo provocan una ralentización de la difusión de nuevas tecnologías, especialmente en sectores intensivos en capital. En este caso, la introducción de cambios más radicales tiende a coincidir con el ciclo de inversión y con la sustitución de bienes de capital. Obviamente, resulta más barato y fácil introducir cambios entonces.

Por todo ello, los ciclos de inversión influyen en la probabilidad de adopción de tecnologías ambientales radicales. Si una empresa ha implementado recientemente una tecnología EOP, puede encontrarse durante un largo periodo de tiempo atada financiera y técnicamente a esa inversión

La adopción de una tecnología implica aplicar tecnologías complementarias, realizar profundos cambios en los procesos de producción existentes o en la organización de la empresa y formar al personal en el uso de la nueva tecnología. Por lo tanto, cuando existe una «base instalada», los costes del cambio (*switching costs*) a una nueva tecnología pueden ser elevados, especialmente cuando la nueva tecnología es incompatible con el sistema tecnoeconómico ya existente (8).

Cuanto más sistémica es una tecnología (es decir, cuanto más interrelacionados estén sus componentes), mayores son los costes del cambio. La razón es que tecnologías más radicales suponen un elevado grado de ruptura con el conocimiento, las tecnologías complementarias y las habilidades técnicas que han sido acumulados por la empresa y por su personal.

Esto resulta especialmente relevante para el análisis de las barreras a la adopción de tecnologías limpias. En efecto, en contraste con las tecnologías EOP, que pueden ser añadidas fácilmente a los procesos productivos existentes, la introducción de una tecnología limpia provoca cambios

sustanciales en el proceso así como la adquisición de tecnologías complementarias. Las tecnologías limpias son a menudo complejos sistemas tecnológicos que forman un todo compuesto por partes interdependientes. Esta interdependencia significa que la sustitución de una parte implica la sustitución del sistema entero.

Además, las tecnologías limpias suelen provocar un cambio en la organización de la empresa o pueden exigir una nueva base de conocimientos incompatible con la que ha sido acumulada por la misma. Si esto es así, entonces el personal debe ser formado en la nueva tecnología o deben contratarse trabajadores cualificados. Por lo tanto, cuando hay una base instalada, los costes de cambio a una tecnología limpia pueden ser altos y esto puede conducir a la inercia tecnológica (*lock-in*).

No obstante, en ocasiones esa acumulación de conocimiento puede precisamente facilitar la adopción de tecnologías ambientales pues estas requieren, por ejemplo que los operarios tengan cierto saber hacer. En otras palabras, no siempre la base instalada es incompatible con la nueva tecnología sino que, por el contrario aquella facilita la adopción de esta.

Adoptar una perspectiva dinámica: reducciones en el coste de la tecnología, aprendizaje y efectos de escala.

Desde una perspectiva dinámica, los costes de la tecnología pueden cambiar con la difusión, retroalimentando e influyendo en la decisión de adoptar. Las mejoras post-innovación y/o las reducciones en el coste de la nueva tecnología pueden tener lugar como consecuencia de los efectos de escala y de aprendizaje (aprendizaje por el uso, aprendizaje por la práctica y aprendizaje por la interacción)(Arthur 1988; Kemp 1994).

Estos efectos pueden ser uno de los factores que impiden la introducción de tecnologías limpias. La razón es que las tecnologías limpias muestran mayores costes y/o una calidad inferior, al menos inicialmente (es decir, cuando son introducidas). Como no han podido difundirse tampoco han podido aprovechar los beneficios de la difusión: Cuanto más es adoptada una tecnología, menores son los costes unitarios (efectos de escala),

El papel de las expectativas. A pesar del anterior razonamiento, la expectativa de que una tecnología mejorará o de que sus costes se reducirán puede ser una barrera para su adopción, pues los potenciales adoptantes pueden esperar hasta que tales mejoras y/o reducciones de costes se produzcan. En ese caso, los adoptantes potenciales pueden preferir no incurrir en los riesgos y en los mayores costes derivados de una adopción temprana. No obstante, ser pionero en la adopción puede reportar a las empresas ciertos beneficios, como se ha mencionado al inicio de este apartado.

Aparte de estas tecnologías sectoriales, existen tecnologías horizontales (aplicables a varios sectores) que pueden provocar sensibles reducciones del impacto ambiental en el futuro, tales como ciertas aplicaciones de la biotecnología, la nanotecnología y las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC).

EL ESTUDIO EMPÍRICO.
MUESTRA, DATOS
Y PRINCIPALES RESULT

LA MUESTRA Y LOS DATOS

CUADRO 1 EJEMPLOS DE TECNOLOGÍAS AMBIENTALES EN ALGUNOS SECTORES INDUSTRIALES		
Sector	Ejemplos de tecnologías limpias; integradas en el proceso (*)	Ejemplos de tecnologías EOP
Cemento	MSC, trituradoras modernas, refrigerantes modernos, combustibles alternativos, precalcinadores, sistemas expertos, cambio de quemadores.	Filtros de bolsa o electrofiltros.
Papel	Véase siguiente sección	Véase siguiente sección.
Químico	Optimización del proceso de recuperación de flúor, nuevos catalizadores, almacenamiento y recuperación de condensados, recuperación y venta de ácido acético residual (reciclaje externo).	Tecnología de membrana para extraer disolvente orgánico de las aguas residuales.
Farmacéutico	Biomasa residual distribuida como fertilizante (reciclaje externo), sustitución de agentes de limpieza (ácido acético en lugar de un disolvente orgánico), química de disolventes orgánicos en sustitución de química acuosa.	Extracción de disolvente de soluciones acuosas.
Refino	Captura/regeneración de volátiles perdidos (reciclaje interno).	Eliminación del nitrógeno, tratamiento químico de la soda cáustica utilizada, planta de tratamiento de las aguas residuales.
Fabricación de cerveza	Reciclaje del agua (reciclaje interno).	Planta de neutralización (como preparación para una planta de tratamiento de aguas residuales).
Pinturas	Pinturas con bajo contenido en disolventes.	
Chapado metálico	Tecnología de membrana, proceso libre de cianuro.	Tratamiento de los residuos metálicos (desintoxicación, neutralización y deshidratación).
Textil	Aplicación mínima con pulverizadores, con rodillo o con espuma, sistemas de impresión de tinta (<i>ink jet printing</i>).	Tecnologías de aspiración (<i>vacuum technologies</i>).

FUENTE: Elaboración propia a partir de: Calleja et al (2003), van Dijken et al (1999), Kemp (1997), Clayton et al (1999).

Antes de la entrevista, se envió el cuestionario a los entrevistados (por fax). Este contenía preguntas sobre las tecnologías ambientales adoptadas por las empresas en los últimos 5 años, los motivos y obstáculos para la adopción, los impactos de la adopción en la empresa y los flujos de información sobre tecnologías limpias.

PRINCIPALES RESULTADOS

Tecnologías ambientales adoptadas. En la figura superior, las tecnologías ambientales adoptadas por las empresas se han agrupado en 13 categorías. Es posible extraer algunas conclusiones de la misma:

1] Existe una amplia gama de alternativas tecnológicas ambientales en este sector: desde tecnologías EOP hasta cambios muy radicales en los procesos productivos. Por lo tanto, la ausencia de oportunidades tecnológicas ambientales no es el factor limitador para la adopción de tecnologías ambientales en este sector.

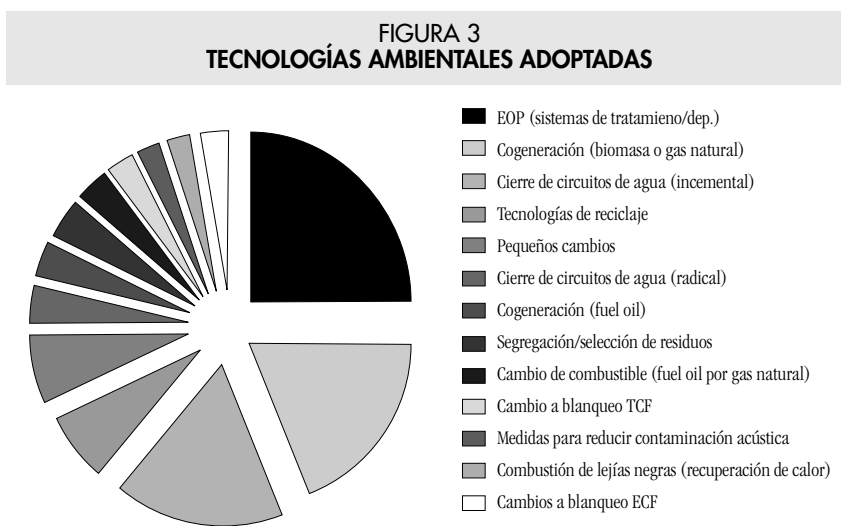
2] Algunas de estas tecnologías no fueron adoptadas solamente por razones ambientales (por ejemplo, en el caso de la cogeneración) aunque, según los entrevistados, las características ambientales de las mismas fueron un factor fundamental en la adopción.

3] Las empresas adoptan tecnologías ambientales para abordar, preferentemente, los siguientes problemas ambientales: vertidos de aguas residuales (y consumo de agua), residuos sólidos y consumo energético.

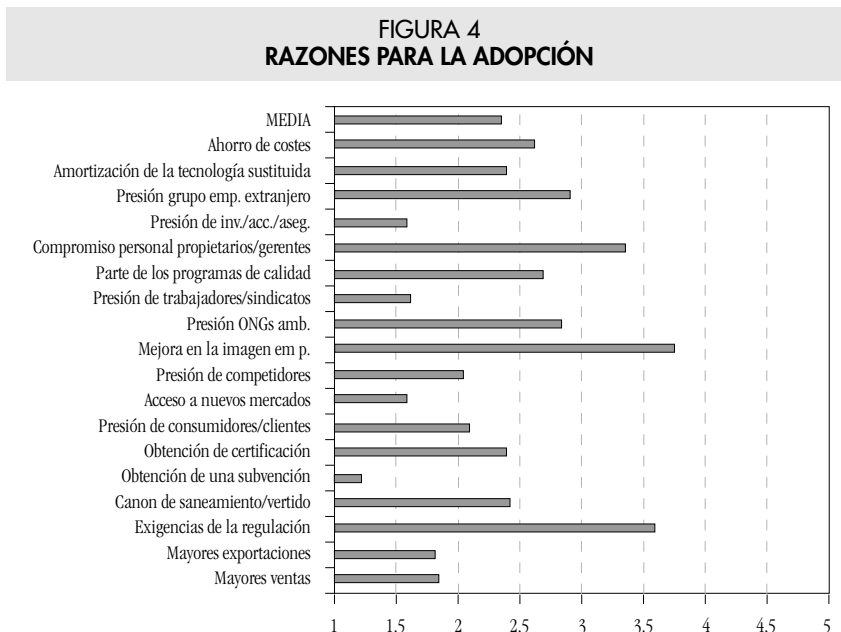
4] La mayoría de las tecnologías ambientales adoptadas eran tecnologías EOP (por ejemplo, plantas de tratamiento de aguas residuales) o tecnologías limpias de carácter incremental (cambios pequeños dirigidos al cierre de los circuitos de agua, «beneficios de la fruta madura» y sistemas de cogeneración) (11).

Razones para la adopción. En general, la razón más importante para adoptar las anteriores tecnologías ambientales es, sobre todo, la presión de la regulación. La mejora en la imagen de la empresa es un factor menos importante. Entre los motivos menos relevantes se encuentran la obtención de una subvención, la posibilidad de introducirse en nuevos mercados, la presión de los inversores, accionistas o aseguradoras y la de los trabajadores o sindicatos.

Puede apreciarse que los motivos económicos (ahorros de costes o aumento en los ingresos) jugaron un papel limitado en la adopción. La razón es doble. Por un lado, resulta difícil recuperar las inversiones en tecnologías ambientales con unos mayores ingresos. Estas tecnologías no incrementan directamente las ventas de las empresas o sus exportaciones, pues el mercado no parece valorar las mejoras en el rendimiento ambiental de la empresa o de sus productos (otros atributos del producto, tales co-



FUENTE: Elaboración propia.



Escala: 5 (factor muy importante en la adopción), 4 (factor importante), 3 (ni importante ni no importante), 2 (factor poco importante), 1 (factor nada importante).

FUENTE: Elaboración propia.

mo el precio o la calidad, son más valorados) y no «recompensa» a aquellas empresas que han adoptado tecnologías ambientales. Por otro lado, los ahorros de costes tienen una importancia relativa baja como motivo para la adopción.

Sin embargo, cuando se lleva a cabo un análisis por tipo de empresa y por tipo de tecnología, entonces se observa que la im-

portancia de las razones para la adopción varía en relación al análisis agregado. Así, en las tecnologías EOP, la regulación parece ser el principal factor, mientras que los motivos económicos son poco importantes. En las tecnologías incrementales, la reducción de costes y, en menor medida, las mayores ventas, constituyen las principales razones para adoptar. En las tecnologías radicales, las variables de mercado (co-

mo el incremento en las ventas, las exportaciones o el acceso a nuevos mercados) y la regulación son las principales razones. Esto confirma que adoptar tecnologías limpias puede incrementar la competitividad de ciertos adoptantes.

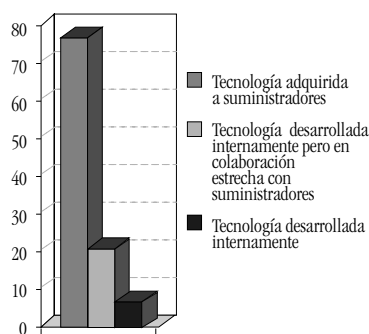
Un análisis de la influencia del tamaño empresarial y de la estrategia ambiental de la empresa en la probabilidad de adopción permite inferir ciertas conclusiones interesantes (12). Por un lado, se observa que las pequeñas empresas tienden a adoptar tecnologías menos radicales (por su escasez relativa de recursos financieros, humanos y técnicos), siendo la presión derivada de la regulación el principal motivo para adoptar una tecnología ambiental.

Por el contrario, en las grandes empresas las razones para la adopción están más diversificadas. Es reseñable que en estas últimas empresas se concede una mayor relevancia a los ahorros de costes y a las denominadas «variables de mercado». Esto indica una diferente percepción de la protección ambiental entre ambos grupos de empresas. Para las pequeñas, el «medio ambiente» es una fuente de amenazas, mientras que para las grandes es una fuente de oportunidades.

Finalmente, y como era de esperar, las empresas que han adoptado una estrategia ambiental más proactiva hacia las cuestiones ambientales son también las que muestran una mayor probabilidad de adoptar tecnologías limpias radicales. Motivos para la adopción como la mejora en la imagen, las variables de mercado y el ahorro de costes son relativamente más importantes para estas empresas.

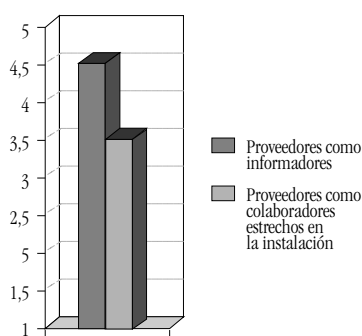
Las principales fuentes de tecnologías limpias y el papel de los suministradores de equipo en el proceso de adopción. En este sector, las tecnologías limpias están normalmente incorporadas en bienes de equipo suministrados por proveedores especializados. El desarrollo de tecnologías limpias por parte de las empresas usuarias (o incluso en colaboración con otras empresas papeleras) constituye un fenómeno excepcional (véase figura 5). Por ello, el papel crucial que juegan los suministradores de equipo en la adopción de tecnologías ambientales merece un análisis más detenido.

FIGURA 5
FUENTES DE TECNOLOGÍAS AMBIENTALES



FUENTE: Elaboración propia.

FIGURA 6
LOS SUMINISTRADORES COMO AGENTES FUNDAMENTALES EN EL PROCESO DE ADOPCIÓN



FUENTE: Elaboración propia.

La importancia de los proveedores de equipo va más allá del hecho de que son ellos los que suministran la tecnología. Debido a la sofisticación y complejidad del proceso productivo, los suministradores y los adoptantes son colaboradores estrechos en la adaptación de la tecnología a las particularidades tecnoeconómicas de la empresa y de su proceso productivo. Cuanto más radical es una tecnología, más importante es el papel jugado por los suministradores y más intensa la relación entre ellos y los adoptantes en la instalación de las tecnologías.

La interacción entre los adoptantes y los suministradores, resulta beneficiosa para ambos: Los adoptantes obtienen una implementación adecuada de la tecnología,

mientras que las deficiencias técnicas en la tecnología identificadas por los adoptantes como resultado de su utilización (aprendizaje por el uso) suponen una fuente esencial de innovación y de mejora continua en la tecnología.

Por ello, las competencias tecnológicas de ambos actores son muy relevantes en la adopción de tecnologías ambientales. Los adoptantes deberían tener la capacidad técnica para vincular y relacionar una amplia variedad de componentes tecnoeconómicos procedentes de diferentes suministradores. El resultado es un sistema tecnológico, una configuración de componentes integrados coherentemente por el usuario.

Los suministradores también juegan un papel fundamental en la adopción como principal fuente de información sobre nuevas tecnologías limpias para las empresas (figuras 6 y 7).

Otros actores tienen menor importancia en este contexto. Esto apunta a un potencial papel para las administraciones públicas: diversificar las fuentes de información y evitar la excesiva dependencia que tienen los potenciales usuarios de los suministradores en el sentido apuntado(13).

Barreras para la adopción. En relación a las barreras a la adopción, no existe una razón única que impida que las tecnologías limpias sean adoptadas. No obstante, los principales obstáculos están relacionados con los largos periodos de retorno de la inversión en estas tecnologías, como consecuencia de los elevados costes y de la voluminosa inversión inicial requerida (y de la dificultad de recuperar esas inversiones a través de un aumento en las ventas). Además, otras razones relativamente importantes para no invertir en tecnologías limpias son el hecho de que los esfuerzos de protección ambiental llevados a cabo por la empresa se consideran suficientes para cumplir con la regulación existente, que el equipo instalado no se ha amortizado enteramente y que los cambios tecnológicos conlleven una modificación sustancial en la organización y en la estructura interna de la empresa (o en su proceso productivo).

Todas estas barreras ponen de manifiesto las dificultades existentes para introducir

cambios tecnológicos ambientales radicales en sectores intensivos en capital, en los que incluso aquellos cambios considerados como «incrementales» implican cuantiosos desembolsos de capital.

Cuando se analizan las características de la empresa que pueden influir en la adopción de tecnologías limpias, algunos aspectos internos a la empresa, su tamaño y el carácter de la propiedad de la misma parecen ser variables explicativas de los obstáculos a la adopción. Así, las empresas proactivas, mejor preparadas para el cambio, no consideran la ausencia de recursos humanos cualificados como un obstáculo para la adopción y están menos preocupadas por los drásticos cambios que la tecnología puede causar en el proceso productivo y/o en la organización de la empresa.

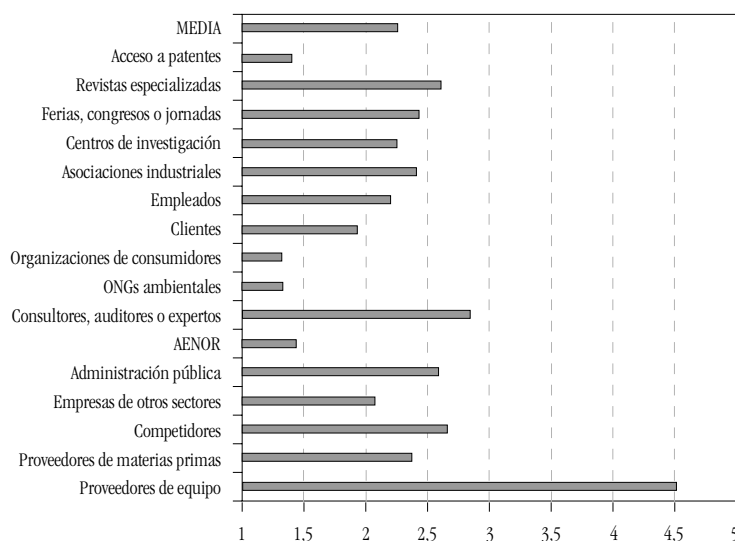
En contraste con las pequeñas empresas, las grandes conceden poca importancia como obstáculo a las altas inversiones y a los drásticos cambios internos que provocan las tecnologías limpias. La falta de recursos humanos y financieros se percibe como una importante barrera a la adopción, pero especialmente para las PYMES.

Finalmente, la falta de recursos financieros, técnicos y humanos es menos importante como barrera para la adopción para aquellas empresas que pertenecen a un grupo empresarial extranjero. Estas empresas parecen aprovechar la disponibilidad y el flujo de recursos procedentes de la matriz.

56

Impacto de la adopción en la empresa. En la figura 9 anterior se identifican los impactos en la empresa derivados de la adopción de tecnologías ambientales. El impacto más relevante está relacionado con las elevadas inversiones a que da lugar la adopción. La implementación de una tecnología (especialmente las radicales) implica frecuentemente una nueva formación para los trabajadores y la colaboración con clientes, suministradores o competidores. Estos resultados eran previsibles. Ya se ha comentado suficientemente la relevancia en este sentido de los desembolsos de capital y de la cooperación usuario-suministrador. Por otro lado, los trabajadores pueden no estar familiarizados con las nuevas tecnologías, de

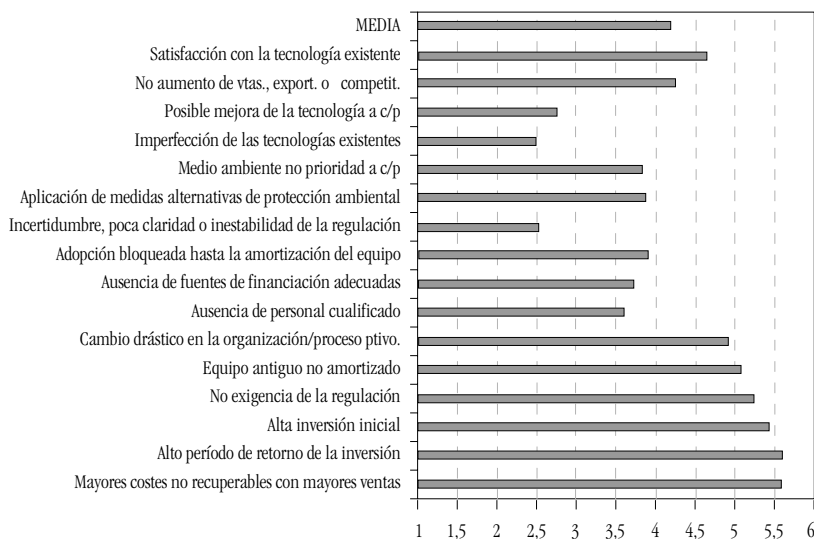
FIGURA 7
FUENTES DE INFORMACIÓN SOBRE TECNOLOGÍAS LIMPIAS



Escala: 5 (fuente de información muy importante en la adopción), 4 (importante), 3 (ni importante ni no importante), 2 (no importante), 1 (nada importante).

FUENTE: Elaboración propia

FIGURA 8
BARRERAS A LA ADOPCIÓN



Escala: 5 (obstáculo muy importante en la adopción), 4 (importante), 3 (ni importante ni no importante), 2 (no importante), 1 (nada importante).

FUENTE: Elaboración propia.

forma que es necesario una formación específica para poder utilizarlas.

El grado de impacto de la adopción en la empresa usuaria depende del tipo de tecnología adoptada, así como de las propias

características de la empresa. Por un lado, la adopción de una tecnología ambiental radical produce cambios más drásticos en la organización de la empresa y en su proceso productivo en relación a la aplicación de una tecnología incremental (14). Por

otro lado, la adopción de una determinada tecnología ambiental genera un impacto mayor en las pequeñas empresas. Por esto mismo el comportamiento de estas muestra una mayor resistencia al cambio e inercia.

CONCLUSIONES

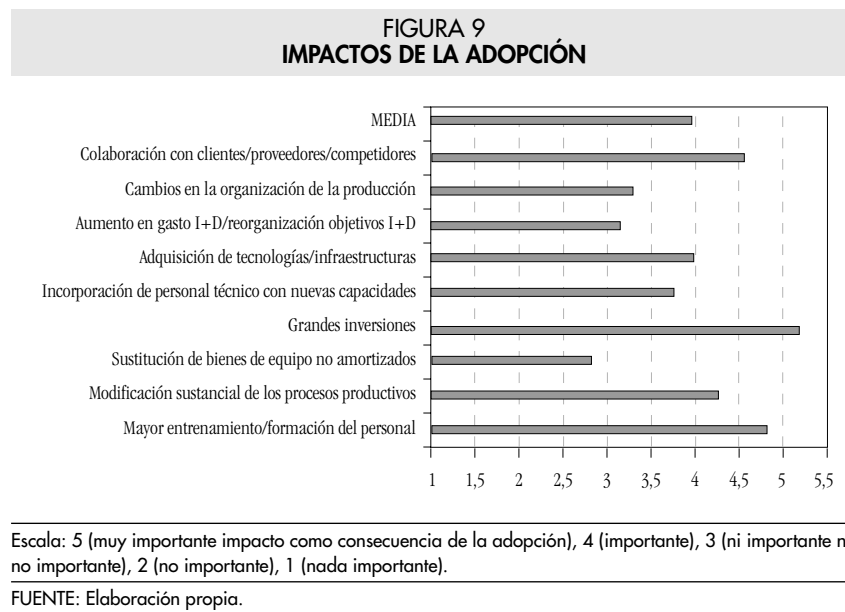
En general, los estudios teóricos y empíricos limitan la discusión de los factores que influyen en la adopción tecnológica ambiental al papel que juegan los factores externos a la empresa (principalmente, la regulación) pero no consideran y analizan la influencia de otros grupos de factores tan importantes, tales como las características internas de la empresa o ciertas características de las tecnologías ambientales.

Los estudios aplicados a nivel sectorial basados en el modelo triangular resultan útiles para analizar los principales determinantes y obstáculos a la adopción de tecnologías limpias. Esto resulta particularmente relevante en el contexto de la consecución de una transición hacia el Desarrollo Sustentable, pues tal análisis de las barreras al cambio tecnológico ambiental puede ser útil como «input» en la toma de decisiones de política pública implantando medidas que mitiguen el efecto de los obstáculos a la adopción y puedan hacer compatible los incentivos privados de los adoptantes de tecnologías ambientales con la sustentabilidad a largo plazo del planeta.

No obstante, aunque es evidente que, tanto del modelo teórico como de los resultados de su aplicación al sector papel pueden inferirse determinadas recomendaciones de política pública (ambiental y tecnológica) dirigidas a la promoción del cambio tecnológico ambiental en la industria, las razones de espacio provocan que esta cuestión se aborde en un artículo posterior.

NOTAS

(1) Es necesario matizar, no obstante, que la tecnología es sólo una condición necesaria, pero no suficiente para lograr un proceso de



transición hacia la sustentabilidad. Existen ciertas limitaciones para que la tecnología juegue un papel de factor único en el Desarrollo Sustentable (véase Hueseman (2001)).

(2) En realidad, la diversidad de alternativas tecnológicas ambientales es más compleja y amplia que lo que sugiere la dicotomía tecnologías limpias-tecnologías EOP. Así, por ejemplo, Skea (1995) suministra una taxonomía de tecnologías ambientales, distinguiendo entre tecnologías de limpieza, tecnologías de control de la contaminación, gestión de residuos, procesos limpios, reciclaje y productos limpios. Sin embargo, la dicotomía anteriormente mencionada, aunque simplificadora, es útil en el contexto de este trabajo pues suministra una imagen adecuada de los cambios necesarios a nivel de empresa que la adopción de una tecnología provoca así como del diferente impacto de cada grupo de tecnología ambiental en el medio natural.

(3) Si el aumento en los costes fijos y variables derivado de la adopción son más que compensados por las reducciones de costes subsiguientes o por un aumento en los ingresos (por ejemplo, debido a mayores ventas como consecuencia de la explotación de una «imagen verde»).

(4) En del Río (2002) se ofrece una discusión de las barreras a las tecnologías limpias en la industria. En este apartado se aporta un análisis más sistemático de los factores (tanto determinantes como barreras) que afectan a la adopción de tecnologías ambientales en general, como base para el estudio empírico cuyos resultados se aportan en las siguientes secciones.

(5) Tales como las teorías tradicionales del crecimiento económico, los modelos de crecimiento endógeno, las teorías de la innovación inducida, los modelos macroeconómicos ener-

gético-ambientales, los modelos de innovación en el control de la contaminación, las teorías de la gestión ambiental en la empresa y, finalmente, enfoques sociológicos tales como el de la red de actores o el de la evaluación constructiva de tecnologías (CTA)

(6) Es imposible resumir en unas cuantas líneas todas las aportaciones teóricas realizadas por los enfoques evolutivos. En este sentido, se recomienda acudir a los trabajos de Dosi et al (1988), Freeman (1994), Nelson (1995), y Rip y Kemp (1998).

(7) De forma simultánea, la tecnología modifica el contexto socioeconómico en el que se encuentra imbuida, en un proceso conocido como coevolución.

(8) Véase Unruh (2000) para un análisis de estos costes del cambio.

(9) Esta tabla no pretende recoger todas las tecnologías limpias y EOP que existen en cada uno de los sectores mencionados, sino simplemente transmitir la idea de que, en casi todos los sectores existen diferentes alternativas tecnológicas para controlar la contaminación. Pueden consultarse más ejemplos en: van Dijken et al (1999) y Villamil y Maties (2002). Los BREFs que se han elaborado para las diferentes industrias son también una valiosa fuente de información sobre tecnologías limpias y EOP en esos sectores. Ambas tipos de tecnologías forman parte de las mejores tecnologías disponibles (MTD) en esos sectores.

(10) La falta de tiempo y la intimidad de los datos requeridos fueron las principales razones para rechazar ser entrevistados.

(11) Con el objetivo de ilustrar mejor este asunto, las tecnologías fueron posteriormente clasificadas en tres grandes grupos, en función del grado de ruptura que cada una generaba en los procesos productivos existentes: Tecno-

logías EOP (que no provocaban un cambio en los procesos productivos), tecnologías limpias incrementales (pequeños cambios en alguno de los componentes del proceso productivo, pero manteniendo la configuración básica del mismo) y tecnologías limpias radicales (cambios en la configuración del proceso, en su estructura o en su organización). Según esta nueva clasificación, la mayoría de las tecnologías ambientales adoptadas eran incrementales (el 55%) y EOP (el 36%). Sólo el 8% de las tecnologías adoptadas podían considerarse tecnologías limpias radicales.

(12) Por supuesto, estas variables pueden estar correlacionadas entre si (de hecho, aquellas empresas con una estrategia ambiental proactiva parecen ser empresas grandes, que exportan una proporción relevante de su producción a los mercados europeos). Estas y otras correlaciones deberían ser investigadas en un análisis estadístico más elaborado.

(13) Una justificación para que la política pública trate de reducir esa dependencia reside en que los suministradores, como agentes con ánimo de lucro que son, pueden estar interesados en ofrecer y, por lo tanto, promover la adopción de una determinada tecnología en detrimento de otras potencialmente más interesantes desde el punto de vista social, conduciendo a una situación de *lock-in*. Diversificar las fuentes de información permite que los potenciales adoptantes puedan elegir entre una gama más amplia de alternativas tecnológicas, mitigando la posibilidad de que tenga lugar el *lock-in*.

(14) Las tecnologías ambientales radicales requieren una formación adicional del personal de la empresa y/o la contratación de trabajadores cualificados, provocan un cambio sustancial en el proceso y la organización de las

empresas, generan una rápida sustitución de bienes de capital no amortizados y exigen fuertes inversiones y la adquisición de tecnologías complementarias.

REFERENCIAS

- ARTHUR, W.B., (1988): Competing technologies: An overview. In: Dosi, G., Freeman, C., Nelson, R., Silverberg, G. y Soete, L. (eds.). *Technical Change and Economic Theory*. Pinter Publishers, Londres, pp.590-607.
- CALLEJA, I., LINDBLOM, J. y WOLF, O. (2003): Tecnologías limpias en Europa: difusión y fronteras. IPTS Report 69, pp.13-23.
- CLAYTON, A., SPINARDI, G. y WILLIAMS, R. (1999): «Policies for Cleaner Technology». *A New Agenda for Government and Industry*. Earthscan. Londres.
- COENEN, R y KLEIN-VIELHAUER, S. 1997: «Importancia de la tecnología medioambiental para el desarrollo sostenible desde el punto de vista económico y ecológico». IPTS Report 14, pp.5-12.
- DEL RÍO, P. (2002): «Determinantes y obstáculos al cambio tecnológico ambiental en la industria. hacia un modelo para el análisis». *Revista Interdisciplinaria de Gestión Ambiental* 42, pp.12-22.
- DOSI, G., FREEMAN, C., NELSON, R., SILVERBERG, G. and SOETE, L. (Eds.) (1988): «Technical Change and Economic Theory». Pinter Publishers. London.
- FAUCHEUX, S., NICOLAI, I. y O'CONNOR, M. (1998): Globalization, Competitiveness, Governance and Environment: What Prospects or a Sustainable Development?. En Faucheux, S., Gowdy, J. and Nicolai, I. (Eds.). *Sustainability and Firms: Technological Change and the Changing Regulatory Environment*. Edward Elgar. Cheltenham (UK), pp.13-40.
- FREEMAN, C. (1994): «The Economics of technical change». *Cambridge Journal of Economics* 18, pp.463-514.
- HUESEMAN, M (2001): *Can pollution problems be effectively solved by environmental science and technology?*. An analysis of critical limitations. *Ecological Economics* 37, 271-287.

- KEMP, R. (1994): *Technology and the transition to environmental sustainability*. Futures 26 (10), pp. 1023-1046.
- KEMP, R. (1997): Environmental Policy and Technical Change: A comparison of the technological impact of policy instruments. Edward Elgar. Cheltenham (UK).
- NELSON, R., (1995): «Recent Evolutionary Theorizing about Economic change». *Journal of Economic Literature*. Vol. XXXIII, pp. 48-90.
- RENNINGS, K., (2000): Redefining innovation—eco-innovation research and the contribution from ecological economics. *Ecological Economics* 32, pp.319-332.
- RIP, A. Y KEMP, R. (1998): «Technological Change». En Rayner, S. and Malone, E. (eds.) *Human Choice and Climate Change*. An International Assessment, vol.2, Batelle Press, Washington D.C., pp.327-399.
- SKEA, J. (1995): «Environmental technology». En Folmer, H.; Gabel, H.L. y Opschoor, H.O (eds.). *Principles of Environmental and Resource Economics*. Edward Elgar. Aldershot (UK), p.389-412.
- UNRUH, G. (2000): «Understanding carbon lock-in». *Energy Policy*. 28(12), 817-830.
- VAN DIJKEN, K. et al (1999): «Adoption of Environmental Innovations». *The Dynamics of Innovation as Interplay between Business Competence, Environmental Orientation and Network Involvement*. Kluwer. Dordrecht (Holanda)
- VILLAMIL, A. y MATIES, J. (2002): «Política Económica del Medio Ambiente». *Aplicaciones Empresariales*. Editorial Centro de Estudios Ramón Areces. Madrid.
- WELFORD, R. (1996): «Corporate Environmental Management». *Systems and Strategies*. Earthscan. London.